

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-027945

(43)Date of publication of application : 31.01.1995

(51)Int.Cl.

G02B 6/287

(21)Application number : 05-192819

(71)Applicant : JAPAN ENERGY CORP

(22)Date of filing : 06.07.1993

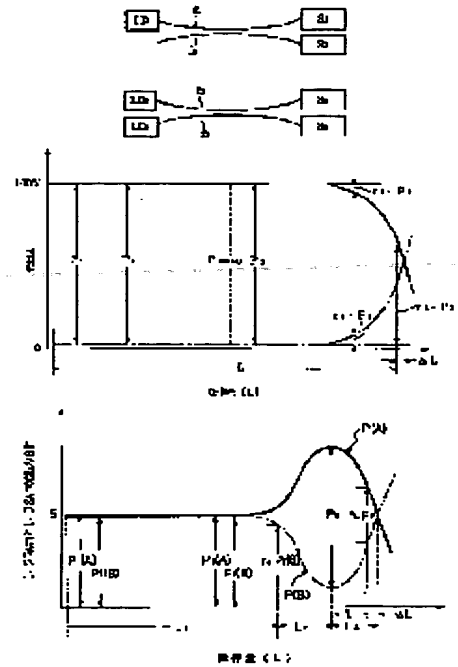
(72)Inventor : ABE TOSHIHIRO

## (54) PRODUCTION OF OPTICAL FIBER COUPLER

### (57)Abstract:

PURPOSE: To provide an optical fiber coupler capable of producing an optical fiber coupler with prescribed characteristic with superior reproducibility.

CONSTITUTION: Fusion drawing is performed as measuring light output from the output terminals of optical fibers f1, f2. When light is inputted from the optical fiber f1, the fusion drawing is stopped when the light output from the output terminal of the optical fiber f1 arrives at a value in which the maximum value P2 of the light output is multiplied by a prescribed ratio r2 larger than 50%. Or, when the light with specific two wavelength are inputted from the output terminals of the optical fibers f1, f2, respectively, the fusion drawing is stopped when the difference of the light output from the output terminals of the optical fibers f1, f2 arrives at a value in which the maximum value P3 of the difference of the light output is multiplied by a prescribed ratio r4 larger than 0% and also smaller than 50%.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-27945

(43) 公開日 平成7年(1995)1月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/287

識別記号

庁内整理番号

8106-2K

F I

G 0 2 B 6/28

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平5-192819

(22) 出願日 平成5年(1993)7月6日

(71) 出願人 000231109

株式会社ジャパンエナジー

東京都港区虎ノ門二丁目10番1号

(72) 発明者 阿部 敏宏

埼玉県川口市芝新町6-15 株式会社ニッ  
コー・カブラ内

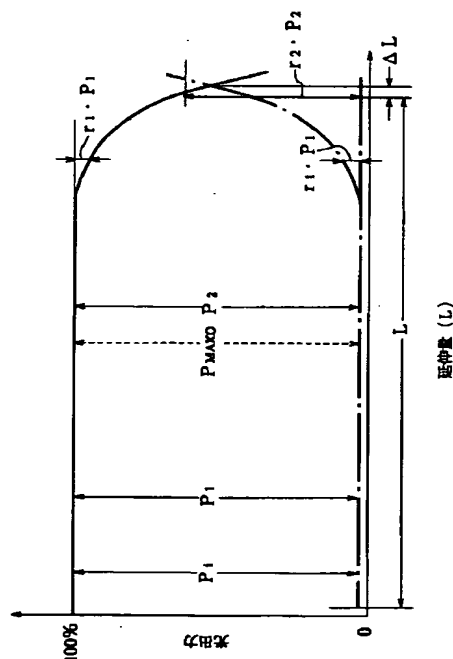
(74) 代理人 弁理士 倉橋 暎

(54) 【発明の名称】 光ファイバカブラの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 所定の特性を有する光ファイバカブラを再現性良く製造することのできる光ファイバカブラの製造方法を提供することである。

【構成】 光ファイバ  $f_1$ 、 $f_2$  の出力端からの光出力を計測しながら、融着延伸を行なう。そして、光ファイバ  $f_1$  より光入力する時、光ファイバ  $f_1$  の出力端からの光出力が、その、光出力の最大値  $P_2$  に50%より大きい所定の比率  $r_1$  を乗じた値となった時に融着延伸を停止する。或は、光ファイバ  $f_1$ 、 $f_2$  より特定の2波長の光を夫々光入力する時、光ファイバ  $f_1$ 、 $f_2$  の出力端からの光出力の差が、その光出力の差の最大値  $P$  に0%より大きく且つ50%より小さな所定の比率  $r_2$  を乗じた値となった時に融着延伸を停止する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数本の光ファイバを融着延伸して光結合部を形成する光ファイバカブラの製造方法において、

(a) 光ファイバを相互に接触させた部分を加熱し融着すること、(b) 前記光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて継続的に測定しながら、該融着領域を均一に加熱し且つ同時に該融着領域の両端部を所定の速度で相対的に離反する方向に移動して、該融着領域を延伸すること、(c) 前記複数本の光ファイバより選ばれる特定の光ファイバの出力端から

の光出力が、その光出力の最大値に50%より大きい所定の比率を乗じた値となった時に融着延伸を停止すること、を特徴とする光ファイバカブラの製造方法。

【請求項2】 複数本の光ファイバを融着延伸して光結合部を形成する光ファイバカブラの製造方法において、

(a) 光ファイバを相互に接触させた部分を加熱し融着すること、(b) 前記光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて継続的に測定しながら、該融着領域を均一に加熱し且つ同時に該融着領域の両端部を所定の速度で相対的に離反する方向に移動して、該融着領域を延伸すること、(c) 前記複数本の光ファイバより選ばれる特定の2本の光ファイバの出力端からの光出力の差が、当該光出力の差の極大値に0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率を乗じた値となった時に融着延伸を停止すること、を特徴とする光ファイバカブラの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光ファイバカブラの製造方法に関し、特に光ファイバカブラの光結合部を好適に形成することのできる光ファイバカブラの製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、光ファイバカブラは、複数本の光ファイバの被覆を一部除去し、被覆除去部分を相互に接触させた後、この接触部を融着・延伸して光結合部を形成することにより製造されている。

【0003】光ファイバ相互の光学的な結合は、上記融着延伸により形成される光結合部でのみ生じる。このようにして作製される光ファイバカブラの特性は、この光ファイバカブラを構成する光ファイバのコアとクラッドとの屈折率の差と共に、光結合部の形状、即ち、各コアの径、各コア相互の間隙及び融着延伸されている光結合部の全長により決定される。

【0004】従って、所定の特性を有する光ファイバカブラを製造するには、光結合部の形状、即ち、各コアの径、各コア相互の間隙及び光結合部の全長を制御することが必要である。

【0005】しかしながら、融着延伸の工程中に、光結合部の形状を実際に測定することは不可能であり、実際

には、光ファイバカブラの光学的特性、具体的には分岐比及び過剰損失を測定しながら融着延伸を行うことが行われている。例えば、3dB光結合器用光ファイバカブラの場合、目標とする特性、即ち、分岐比が50%となる点で融着延伸を終了する。

【0006】より具体的に言えば、融着延伸工程では、光ファイバの両端を固定保持し、更に、光ファイバの相互に接触させた部分に張力を与え、光結合部となる領域を加熱しつつ、その両端を張力と同じ軸方向に相対的に離反するように移動させる。光ファイバは、加熱により軟化し、塑性流動性となった部分が塑性変形（延伸）を受ける。加熱を停止し、延伸部の両端の相対的移動が終わると、冷却されて塑性流動性を失い、塑性変形（延伸）が停止される。

【0007】上述のような光結合部を形成するための融着延伸工程は、熟練された作業者によって行なわれているが、製品の品質においてバラツキが生じ、歩留りが悪いと言う問題がある。

【0008】最近、光ファイバカブラを再現性良く製造することを目的として、光結合部を形成する融着延伸工程の自動化が試みられている。一例を挙げれば、例えば、3dB光結合器用光ファイバカブラを製造する場合、図3(A)に示すような測定系を採用した融着延伸工程の自動化が試みられている。つまり、この方法によると、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸時には、いずれかの光ファイバ、本例では第1の光ファイバ $f_1$ の入力側に光源LDから、所定波長の、例えば1.55 $\mu\text{m}$ のモニター光を入射し、各光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力側には光出力検知手段、例えばホトダイオードのような受光素子（光センサ） $S_1$ 、 $S_2$ を接続し、各光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ からの光出力をモニターする。

【0009】斯かる構成にて、融着延伸を開始する前の光センサによりモニターされた光出力P<sub>0</sub>を初期値とし、融着延伸が進み光センサによりモニターされる光出力が $(1/2) \cdot P_0$ となる点を延伸の終了すべき点と判定する。その時点で、自動的に加熱を停止し、同時に延伸部の両端の相対的移動も終了する。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の方法では、加熱を停止し、同時に延伸部の両端の相対的移動が終了した後も、延伸部の両端には外部から加えられている張力が存在しているため、塑性変形（延伸）は継続する。そして、光結合部が冷却され塑性流動性を失い、光結合部の弾性変形によるバネ張力と外部から加えられている張力とが釣り合って始めて、塑性変形（延伸）は停止する。そのために、僅かではあるが延伸の終了すべきと判定した時点よりも、融着延伸されている光結合部の全長は長くなり、対応して各コアの径並びに各コア相互の間隙は小さくなる。

【0011】又、光結合部は、融着延伸工程中は、加熱

されて体積膨張しているが、冷却により収縮し、各コアの径及び各コア相互の間隙は小さくなる。その結果、結合係数が変化し、冷却された後の光センサによりモニターされる光出力は、延伸の終了すべきと判定した時点でモニターされた光出力  $(1/2) \cdot P$ 。よりも小さい値となってしまう。つまり、目標とする特性、即ち、分岐比が50%より大きくなるという問題があった。特に、光結合部の中央が最も細く括れた形状となるバイコンカル型の光ファイバカブラでは、上記の余分な延伸時に主として塑性変形を起こす領域は中央の最も細く括れた部分であり、影響はより重大である。

【0012】更に、融着延伸による完全光結合（分岐比が50%となる状態）が最初に生じた点で延伸を停止する3dB光結合器の構成と異なり、より高次の完全光結合する点まで延伸することで、例えば1.33μmと1.55μmの異なる特定の2波長の光に対して異なる次数で完全光結合する状態とする広帯域3dB光結合器、所謂、波長無依存型光ファイバカブラ（Wavelength Independent Coupler:WIC）においては、上述のような影響は致命的である。

【0013】即ち、WICタイプの光ファイバカブラの場合には、より高次の完全光結合する点まで融着延伸がなされるので、光結合部の径はより細くなっている。従って、光結合部が塑性流動性を失い冷却される間に各コアの径及び各コア相互の間隙がより小さくなることによる光結合係数の変化の効果は更に大きなものとなる。そのため、目標とする特性、即ち、分岐比50%からのズレはより大きくなるという問題があった。

【0014】従って、本発明の目的は、所定の特性を有する光ファイバカブラを再現性良く製造することのできる光ファイバカブラの製造方法を提供することである。

【0015】本発明の他の目的は、光ファイバの融着延伸工程を自動化して、融着延伸の終了すべき点を正確に判定し、所定の形状をした光結合部を形成することのできる光ファイバカブラの製造方法を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的は本発明に係る光ファイバカブラの製造方法にて達成される。要約すれば、本発明の第1の態様は、複数本の光ファイバを融着延伸して光結合部を形成する光ファイバカブラの製造方法において、（a）光ファイバを相互に接触させた部分を加熱し融着すること、（b）前記光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて継続的に測定しながら、該融着領域を均一に加熱し且つ同時に該融着領域の両端部を所定の速度で相対的に離反する方向に移動して、該融着領域を延伸すること、（c）前記複数本の光ファイバより選ばれる特定の光ファイバの出力端からの光出力が、その光出力の最大値に50%より大きい所定の比率を乗じた値となった時に融着延伸

を停止すること、を特徴とする光ファイバカブラの製造方法である。

【0017】本発明の第2の態様によれば、複数本の光ファイバを融着延伸して光結合部を形成する光ファイバカブラの製造方法において、（a）光ファイバを相互に接触させた部分を加熱し融着すること、（b）前記光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて継続的に測定しながら、該融着領域を均一に加熱し且つ同時に該融着領域の両端部を所定の速度で相対的に離反する方向に移動して、該融着領域を延伸すること、（c）前記複数本の光ファイバより選ばれる特定の2本の光ファイバの出力端からの光出力の差が、当該光出力の差の極大値に0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率を乗じた値となった時に融着延伸を停止すること、を特徴とする光ファイバカブラの製造方法が提供される。

【0018】なお、本発明の第1の態様における当該光ファイバカブラの光結合部を形成する複数本の光ファイバより選ばれる特定の光ファイバとは、延伸により光結合部とされる光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて測定する時、各光ファイバのうち、融着後、延伸を開始する前において最大の光の伝搬量を測定するために用いる光を入力する光ファイバが1本の場合には、その1本が選ばれる。また、本発明の第2の態様における当該光ファイバカブラの光結合部を形成する複数本の光ファイバより選ばれる特定の2本の光ファイバとは、延伸により光結合部とされる光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて測定する時、各光ファイバのうち、融着後、延伸を開始する前において測定される光の伝搬量が第1及び第2に大きな2本の光ファイバである。通常、光の伝搬量を測定するために用いる光を入力する光ファイバが2本の場合には、その2本が選ばれる。

【0019】更には、本発明の製造方法において、光ファイバの融着領域を経由する光の伝搬量を各光ファイバの出力端にて測定するのに用いる入力光の波長は、製造されるべき光ファイバカブラの適正とされる光学的特性に応じて適宜決められるものである。例えば、製造されるべき光ファイバカブラが、所定の波長の光に対して分岐比が50%となる特性が適正とされる光学的特性のものであるときには、その所定の波長に選ぶことができる。また、例えば、製造されるべき光ファイバカブラが、所定の2つの波長の光に対して夫々分岐比が50%となる特性が適正とされる光学的特性のものであるときには、その所定の2つの波長に選ぶことができる。言うまでもないが、本発明の製造方法において、加熱により融着されるべく相互に接触させる光ファイバは、製造されるべき光ファイバカブラの適正とされる光学的特性が得られるべく設計された光ファイバカブラの構成に応じ

たものであり、又それを相互に接触させる態様も、前記の設計された光ファイバカブラの構成に応じて適宜決められるものである。

【0020】加えて、本発明の第1の態様における50%より大きい所定の比率は、当該光ファイバカブラの製造時に用いる延伸の条件、即ち延伸する速度等に応じて適宜決め得るものである。一方、本発明の第1の態様における50%より大きい所定の比率に代えて、所定の比率を50%以下に選ぶならば、その比率を用いて延伸の終了すべきと判定される時点において、既に当該光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量はその最大値（即ち、分岐比が100%とされる値）の50%以下となってしまう。「本発明が解決しようとする課題」として述べたように、得られる光ファイバカブラは、延伸の終了すべきと判定される時点より延伸量は増したものとなり、前記光の伝搬量を測定する波長の光に対する分岐比は目標とする50%を大きく超えるものとなる。即ち、製造されるべき光ファイバカブラは、前記光の伝搬量を測定する波長の光に対する分岐比が50%となる特性が適正とされるのであるが、50%以下の比率を選ぶならば、得られる光ファイバカブラの特性は適正なものとはなり得ず、且つ目標とする特性より大きく外れたものとなる。

【0021】又、本発明の第2の態様における0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率も、当該光ファイバカブラの製造時に用いる延伸の条件、即ち延伸する速度等に応じて適宜決め得るものである。一方、本発明の第2の態様における0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率に代えて、所定の比率を0%以下（0%或は負の値）に選ぶならば、その比率を用いて延伸の終了すべきと判定される時点において、既に当該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差はその極大値の0%以下となってしまう。「本発明が解決しようとする課題」として述べたように、得られる光ファイバカブラは、延伸の終了すべきと判定される時点より延伸量は増したものとなり、該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差は、該極大値の0%を大きく下回り、該極大値に負の値を乗じるものとなる。即ち、製造されるべき光ファイバカブラは、前記光の伝搬量を測定する波長の光に対する分岐比（光の伝搬量の比率）が50%となる特性が適正とされ、該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差が零となる特性が適正とされるのであるが、0%以下の比率を選ぶならば、得られる光ファイバカブラの特性は適正なものとはなり得ず、且つ目標とする特性より大きく外れたものとなる。或は、所定の比率を50%以上に選ぶならば、その比率を用いて延伸の終了すべきと判定される時点において、当該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差はその極大値の50%までは減じていない。得られる光ファイバカブラは、延伸の終了すべきと判定

される時点より延伸量は増したものとなるが、該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差は、該極大値に50%以上に選ぶ比率を乗じた値より減少するものの、尚かつ零には大きく至らない値となる。即ち、製造されるべき光ファイバカブラは、前記光の伝搬量を測定する波長の光に対する分岐比（光の伝搬量の比率）が50%となる特性が適正とされ、該2本の光ファイバの出力端で測定される光の伝搬量の差が零となる特性が適正とされるのであるが、50%以下の比率を選ぶならば、得られる光ファイバカブラの特性は適正なものとはなり得ず、且つ目標とする特性より大きく外れたものとなる。

【0022】このような本発明の製造方法では、融着延伸する光ファイバが相互に接触する領域の両端間が均一に加熱され、それによって、加熱領域内でクラッドの融合が均一に起こり、融着後の断面形状が均一になる。更に、延伸の工程でも加熱を同じく均一に行うので、延伸時の加熱部の温度は延伸が漸進的に進行する程度に保たれ、又、加熱領域の特定の場所で温度が高くなることはない。従って、均一な塑性流動性を示し、張力を加え延伸させたとき、延伸する領域の断面形状を均一に保つことができる。

【0023】なお、上記した本発明の製造方法においては、第1の工程である（a）光ファイバを相互に接触させた部分を加熱し融着する工程中にも、加熱により当該加熱領域内の光ファイバが軟化されることにより、光ファイバが所望の一軸方向に延長された状態より変位し、撓み等を生じるのを防ぐため、光ファイバを延伸する軸方向に適宜張力が付与される。この融着工程に用いる加熱量の選び方によっては、延伸する軸方向に適宜張力が付与されるため、融着のみならず、不可避的に延伸が進行することになる。更には、融着工程中に所望の張力を付与するために、適宜当該加熱領域の両端部を相対的に離反する方向に移動させてよいのは言うまでもない。かかる面より見れば、第2の工程として（b）に記載する該融着領域を延伸する工程と第1の工程である融着工程とは、時間的連続性を持って実施するとき分別のできない工程となる。但し、本発明においては、第1の工程（a）及び第2の工程（b）と区別して記す2つの工程は、両者を時間的連続性を持って実施する必要は必ずしもなく、両者の工程間に時間的不連続性が生じても良く、又加熱量及び付与する張力を個々に選定し実施できるものである。更には、第3の工程である（c）延伸の終了すべき時点を判定し、融着延伸を終了する工程は、第2の工程（b）と時間的連続性を持って実施されるのは当然のことであり、且つ第1の工程（a）及び第2の工程（b）の実施態様によらず実施され得るものである。

【0024】本発明の方法では、このように延伸する領域の断面形状が均一に保持され、延伸する領域の他の部

分と較べ、断面形状が細くなっている局所的括れが生じることがなく、そのために、従来見受けられるような局所的括れの箇所では加熱により塑性変形をより受け易く更に括れが進むという悪循環を未然に防止できる。

【0025】もし、局所的括れが存在すると、延伸の時間の僅かな差異、延伸量の僅かな違いは、括れ部の長さや細さのバラツキに集積される。括れ部では、断面形状が細くなるに比例して、コア径並びにコア相互の間隙も小さくなる。故に、光結合係数及び損失は断面形状が細くなるに反比例して大きくなる。結果として、括れ部の光結合係数が大きいと、括れ部の長さのバラツキは、全体の光電力伝達係数、主に分岐比に大きなバラツキを与える。更に、括れ部の細さのバラツキは、損失のバラツキをもたらす。

【0026】本発明の方法では、局所的括れの生成を未然に防止できるので、光電力伝達係数、分岐比及び損失のバラツキが低減される。加熱延伸を終了後、冷却する間（終了動作に要する時間と冷却時間）に生じる不可避免的な延伸量も、同様にバラツキを小さくできる。同時に、光結合部の断面形状のバラツキをなくすことで、熱収縮に伴う光結合係数の変化のバラツキをもなくすることができる。

【0027】本発明者は、多くの研究実験の結果、前記不可避免的な延伸量と同時に熱収縮に伴う光結合係数の変化を考慮して、延伸終了の判定基準を設定すると、最終的に得られる延伸量を光ファイバカブラの動作原理に基づき設計される最適な延伸量と等しくできることを見出した。加えて、同一延伸量における光結合部の光電力伝達係数のバラツキが小さいので、上記の延伸終了の判定基準を実験により容易に決定でき、特に、工程動作を自動化する時、上記の作用があいまって、光電力伝達係数、分岐比及び損失のバラツキを著しく低減することができることが分かった。

【0028】

【実施例】以下、本発明に係る光ファイバカブラの製造方法を図面に則して更に詳しく説明する。次に説明する各実施例では、2入力端2出力端の構成を有する光ファイバカブラを製造する場合について説明するが、本発明はこれに限定されるものでないことを理解されたい。

【0029】実施例1

この実施例では、製造される光ファイバカブラは3dB光結合器構成の光ファイバカブラであり、使用する光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ は、コア径10 $\mu\text{m}$ 、クラッド径125 $\mu\text{m}$ のシングルモード光ファイバである。

【0030】図1に、本発明の製造方法を実施するための自動化した光ファイバカブラ製造装置の構成を示す。図2は、この装置の制御ブロック図である。

【0031】本実施例で、光ファイバカブラ製造装置は、コンピュータ(CPU)100と、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の両端部を保持し、そして必要に応じてこの光

ファイバに軸方向の張力を付与することのできる融着延伸装置10と、この融着延伸装置10に離接可能に設置された、例えば水素炎トーチ22を備えた加熱装置20とを有する。融着延伸装置10は、本実施例では、光ファイバの固定端部となる延伸移動端部10A、10Bを有し、延伸移動端部10A、10Bの移動は、コントローラ30を介してコンピュータ100により制御され、又、水素炎トーチ22を備えた加熱装置20は、そのトーチ駆動モータ24がリレー26を介してコンピュータ100により制御される。

【0032】更に、光ファイバカブラ製造装置は、融着延伸台10の光ファイバの固定端部となる延伸移動端部10A、10Bに保持された光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ にモニター光を入力するための光源LDと、融着延伸台10の光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ からの出力光を計測するための光センサ $S_1$ 、 $S_2$ とを備えた光計測装置40を有する。光センサ $S_1$ 、 $S_2$ からの信号は増幅器44にて増幅され、コンピュータ100へと送信される。コンピュータ100にはレコーダ50が接続され、各装置の制御状態が出力される。

【0033】つまり、融着延伸装置10の延伸移動端部10A、10Bの駆動装置(図示せず)及び加熱装置20は、制御用コンピュータ100よりの電気信号により動作する。即ち、延伸移動端部10A、10Bの移動距離、移動速度及び方向、更には水素炎トーチ22を支持する保持台の位置、移動速度及び方向もそれぞれ独自に設けられたセンサで測定され、コンピュータ100に取り込まれ、そして自動制御される。又、水素炎トーチ22に供給されるガス流量は、流量モニター・制御系により、所定の熱量が得られるように、コンピュータ100により設定・調整される。

【0034】更に又、光計測装置40の光源LDの光量及び光センサ $S_1$ 、 $S_2$ の調整も、コンピュータ100から測定データを読み込みそして光源LDの駆動電流及び光センサへの印加電圧の設定・変更を行なうことにより、自動的に行なわれる。

【0035】次に、上記構成の製造装置の使用した光ファイバカブラの製造方法について説明する。

【0036】先ず、従来と同じように、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の被覆を一部除去し、そしてこの被覆除去部分を相互に密に接触させ、融着延伸装置10に固定する。融着延伸装置10の光ファイバの固定端部となる延伸移動端部10Aと10Bとの略中央に、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸する領域が位置するようにする。光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ には、融着延伸装置10の延伸移動端部10A、10Bを相反する方向に移動し、軸方向に所定の初期張力を加える。

【0037】図3(A)に示すように、融着延伸工程中に、分岐比や過剰損失のモニターを行うために、本実施例では光ファイバ $f_1$ に光源LDが接続され、光ファイ

10

20

30

40

50

バ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端に光センサ $S_1$ 、 $S_2$ が接続される。この際、光源LDは波長分布の小さいものが好ましく、特に、半導体レーザが好ましい。又、光センサ $S_1$ 、 $S_2$ は、その光感度が略等しい組合せとするのが好ましい。同時に、光源LDの光量を調節し、光センサ $S_1$ 、 $S_2$ の光感度の直線性の良い範囲に、光出力端からの光出力が得られるようにする。この調整は、予め光センサ $S_1$ 、 $S_2$ の光感度を別途較正しておき、較正された光感度特性を基にして行う。この光計測装置の調整終了時、光ファイバ $f_1$ の出力端での光出力を融着前の初期値 $P_1$ とする。図4に、各光ファイバの出力端での光出力の推移の状態を示す。

【0038】加熱装置の水素炎トーチ22は、予め手動操作で融着延伸を行う位置から離間した後方向に引き出された状態で着火される。

【0039】次に、融着工程を開始する。融着延伸装置に固定された光ファイバ対 $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸する領域の直下に水素炎トーチ22を自動的に移動させる。この位置で水素炎トーチ保持台の縦方向の位置は固定される。又、延伸移動端部10A、10Bは当初の位置に停止した状態で融着を行う。水素炎トーチ保持台は光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の伸長される軸方向にも移動することができるように、水素炎トーチ保持台の横方向の移動軸と光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の伸長される軸方向とは平行に予め設定されているが、この時点では、固定されたままである。

【0040】融着工程に必要な所定の熱量が得られるように、水素炎トーチ22に供給するガス流量の設定・調整がコンピュータ100により行なわれる。この融着工程にて、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸する領域は局部的に加熱を受け、漸進的に融着される。融着が完了した時点での光ファイバ $f_1$ の出力端での光出力を融着後の初期値 $P_1$ とする。

【0041】引き続き、融着延伸の工程に必要な所定の熱量が得られるように水素炎トーチ22に供給するガス流量の設定・調整を行い、延伸移動端部10A、10Bを所定の速度で相対的に離反する方向に移動させ延伸を開始する。延伸中、融着延伸する領域の均一な加熱が行なわれるように、各時点での延伸移動端部の移動距離を基に、融着延伸する領域の中心をコンピュータ100で算出し、水素炎トーチ保持台の駆動装置に移動信号を送る。延伸中、所定の時間間隔毎に、光センサ $S_1$ 、 $S_2$ にて光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力を測定し、この信号を、制御用コンピュータ100に延伸移動端部10A、10Bの相対的な離反距離（延伸量に相当）信号と共に送信して、記憶する。そして、光ファイバ $f_1$ の出力端での光出力が、融着後の初期値 $P_1$ に所定の比率 $r_1$ 、例えば $r_1 = 10\%$ を乗じた値 $r_1 \cdot P_1$ を超える時点を、コンピュータ100に取り込む光センサの出力信号より判定し、この時点を「光結合開始

点」と呼ぶ。

【0042】光結合開始点の前回までの光ファイバ $f_1$ の出力端での光出力測定値の内、その最大値 $P_{max}$ をコンピュータ100に記憶されているデータより求め、光結合開始前基準値 $P_2$ とする。光結合開始点以降、延伸後半工程に移り、必要に応じて延伸移動端部10A、10Bの移動速度を所定の値に変更する。それに伴い、水素炎トーチ22に供給するガス流量も、延伸後半工程に必要な所定の熱量が得られるように調整する。上記の延伸条件の変更は、ある時間内に決められた順序で自動的に実行される。この間も延伸は継続され光結合は進むが、延伸条件の変更に要する時間と延伸条件を適切に選ぶことで、完全光結合となる延伸量に達する前に延伸条件の変更を終了できる。

【0043】延伸後半工程においては、光出力測定を密な時間間隔で行い、光ファイバ $f_1$ の出力端での光出力が光結合開始前基準値 $P_2$ に50%より大きな所定の比率 $r_2$ 、例えば55%を乗じた値 $r_2 \cdot P_2$ より小さくなる時点を検出する。この時点を「延伸終了判定点」と呼び、以降延伸終了工程に移行する。

【0044】つまり、延伸終了判定点を検出すると直ちに、水素炎トーチ保持台を縦方向に移動させ、水素炎トーチを手前に後退させる。同時に、延伸移動端部の移動を停止する。又、水素炎トーチ22に供給するガス流量は、融着工程の開始前の状態に変更する。光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸領域を冷却し、その間に、水素炎トーチ保持台は融着工程の開始前の位置に自動的に復帰される。

【0045】光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の融着延伸領域が冷却した時点で、最終的に両光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力を測定する。前記の両出力端での光出力の最終測定値を基に、分岐比の工程内評価を行う。同時に、光結合開始前基準値 $P_2$ と両光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力の最終測定値より、延伸部における過剰損失を見積もる。

【0046】前記の工程内評価で得られる分岐比及び過剰損失の値が、予め定めた管理範囲内に納まるものを合格品と判定する。分岐比或は過剰損失の何れかが管理範囲外となったものは、自動的に再評価を実施する。再評価において、管理範囲内に納まるものも合格品と判定する。また、必要に応じて、その他の工程内評価を実施する。更に、工程内評価の結果を基に、品質の選別をする。合・否判定とその他の所定の工程管理データは、コンピュータ100により加工し外部記憶装置（媒体）に収納され、以降の工程管理に用いる。

【0047】上記の一連の工程の後、次の光ファイバを融着延伸装置10に固定し、融着延伸を続けて行う。

【0048】上述のように、本発明によれば、延伸終了判定点の検出の基準として光結合開始前基準値 $P_2$ に50%より大きな所定の比率 $r_2$ 、例えば55%を乗じた

値 $r_2 \cdot P_2$ を用いることにより、延伸終了判定点から実際に延伸終了工程が完了する間の延伸終了判定点の後に生じる不可避免的な延伸、及び、冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を考慮して、最適な延伸量に制御できる。

【0049】従って、本発明によれば、図4に示すように、延伸終了判定点の後に生じる不可避免的な延伸量( $\Delta L$ )が、実際の延伸量 $L$ に付加されることとなり、光ファイバの融着延伸領域が冷却された段階では、目標とする分岐比が50%の光結合部が形成される。

【0050】又、前記の比率 $r_2$ は、実験的に仮に $r_2$ の値を50%として上述の融着延伸工程を実施し、図4に示す実際の延伸量と両出力端での光出力の変化を求め、延伸終了判定点の後に生じる不可避免的な延伸と冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を見積もることにより、決めることができる。

【0051】上述した工程においては、延伸終了判定点の検出の基準として光結合開始前基準値 $P_2$ に50%より大きな所定の比率 $r_2$ 、例えば55%を乗じた値 $r_2 \cdot P_2$ を用いたが、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力の差に注目すると、前記の「延伸終了判定点」とされる延伸量において、光出力の差は凡そ $\{r_2 - (1 - r_2)\} \cdot P_2 = (2r_2 - 1) \cdot P_2$ となる。また、前記の「光結合開始点」より延伸量の小さい範囲において、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力の差の極大値を見ると、その値は $P_2$ である。延伸終了判定点の検出の基準として、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力の差の極大値 $P_2'$  ( $=P_2$ )に0%より大きく且つ50%より小さな所定の比率 $r_2'$  ( $=2r_2 - 1$ )を乗じた値 $r_2' \cdot P_2'$ を用いて「延伸終了判定点」を判定すると、前記の延伸終了判定点の検出の基準として $r_2 \cdot P_2$ を用いて判定する「延伸終了判定点」と同じ延伸量になる。即ち、何れの延伸終了判定点を検出する方法においても、最適な延伸量に制御することができる。

【0052】なお、上述した実施例1にて、その製造方法を説明した3dB光結合器構成の光ファイバカブラは、用いる光源LDの波長分布、即ちその光出力強度の波長分布において、最大の強度となる波長(「中心波長」と呼ぶ。)の光に対して、分岐比が50%となるのが適正な光学的特性とされる光ファイバカブラである。又、当該光ファイバカブラは用いる光源LDの中心波長の光に対する3dB光結合器に应用できるのは勿論であるが、その適正な光学的特性、例えば分岐比の波長依存性に基づき当然に予想し得る。その他の用途に应用しても差し支えないのはいうまでもない。例えば、一般に波長分波合波カブラと呼ばれる光ファイバカブラは、特定の2つの波長の光を分波合波できるものであるが、その適正な光学的特性、例えば分岐比の波長依存性を見ると、その他の特定の波長の光に対しては分岐比が50%

となるものである。即ち、その他の特定の波長の光に対し3dB光結合器構成の光ファイバカブラを、特定の2つの波長の光を入力として応用し、波長分波合波カブラとして機能させているものである。

#### 【0053】実施例2

この実施例では、製造される光ファイバカブラはWIC構成の光ファイバカブラであり、使用する光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ は、コア径 $10\mu\text{m}$ 、クラッド径 $125\mu\text{m}$ のシングルモードファイバである。

10 【0054】本実施例においても、実施例1で説明した図1に示す光ファイバカブラ製造装置を同様に使用した。

【0055】先ず、従来と同じように、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の被覆を一部除去し、その後、少なくとも一方の光ファイバのクラッド径を弗化水素酸エッチング等の手段により所定の外径に調整する。然る後、相互に密に接触させ、図1に示す融着延伸装置に所定の張力を加えて固定する。

20 【0056】この実施例では、図3(B)に示すように、各光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の光入力端に波長の異なる2つの光源LD $_1$ 、LD $_2$ をそれぞれ接続し、光出力端には同種の光センサS $_1$ 、S $_2$ を接続する。この際、光源LD $_1$ 、LD $_2$ は波長広がり少ないものが好ましく、半導体レーザがより好ましい。又、光センサS $_1$ 、S $_2$ は、光源LD $_1$ 、LD $_2$ の中心波長で、本実施例ではそれぞれ $1.32\mu\text{m}$ 及び $1.55\mu\text{m}$ で、光感度の波長依存性の少ない且つ光感度の略等しい組合せとするのが好ましい。

30 【0057】実施例1と同じ方法で光計測装置40の調整を行なう。この調整終了時の2つの出力端での光出力をそれぞれ融着前の初期値P $_1$ (A)、P $_1$ (B)とする。通常、P $_1$ (A)とP $_1$ (B)は等しくなる。図5に、各光ファイバの出力端での光出力の推移の状態を示す。

【0058】実施例1と同様の工程により、光ファイバの融着を行う。用いる光ファイバの融着延伸する領域のクラッド径に応じて、融着条件を選択する。融着が完了した時点での、2つの出力端の光出力をそれぞれ融着後の初期値P $_1$ (A)、P $_1$ (B)とする。

40 【0059】引き続き、融着延伸工程を開始する。工程の手順は実施例1に記すと同様である。延伸に伴ない、先ず、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光が光結合を開始する。そのため、光センサS $_2$ にて測定する光ファイバ $f_2$ の出力端での光出力P(B)の減少が始まる。延伸が進むと、次に波長 $1.32\mu\text{m}$ の光が光結合を開始する。

50 【0060】図5に示す2つの波長 $1.32\mu\text{m}$ と $1.55\mu\text{m}$ の光源LD $_1$ 、LD $_2$ の個々の各出力端での光出力に対する寄与状態を分離して示すと、図6に示す通りである。実際には、図6のP(A)、P(B)に示す寄与の合計が各出力端での光出力として観測され、図5



に示す推移が得られる。但し、前記の融着延伸工程中、光計測装置40の調整により、融着後の初期値 $P_1$ 、

(A)、 $P_1$  (B)は略等しいが、図5においては、両者の識別が容易となるように差異を誇張して表現してある。

【0061】なお、光ファイバのクラッド径を適切に選ぶことにより、図6に示すように、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光が分岐比50%の状態となる第2の延伸量( $L_2$ )と、波長 $1.32\mu\text{m}$ の光が分岐比50%の状態となる第1の延伸量( $L_1$ )とを一致させることができる。

【0062】図5において、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光が光結合を開始し、波長 $1.32\mu\text{m}$ の光が光結合を開始する前の延伸量、例えば延伸量 $L_1$ 、では、光出力 $P$

(B)は略波長 $1.55\mu\text{m}$ の光の寄与のみである。故に、光出力 $P$  (B)が融着後の初期値 $P_1$  (B)に所定の比率 $r_1$ 、例えば90%を乗じた値 $r_1 \cdot P_1$  (B)より減少する時点を、コンピュータ100に取り込む光出力データより識別することができる。この時点を「光結合開始点」と呼ぶ。光結合開始点の前回までの各出力端での光出力測定値の内、それぞれの最大値 $P_{\text{MAXO}}$  (A)、 $P_{\text{MAXO}}$  (B)を記憶されているデータより求め、光結合開始前基準値 $P_2$  (A)、 $P_2$  (B)とする。

【0063】以降、延伸後半工程に移り、必要に応じて延伸条件の変更を実施例1に記載したと同様な工程の順序で行う。延伸後半工程においては、光ファイバ $f_1$ 、 $f_2$ の出力端での光出力測定を密な時間間隔で行い、両出力端での光出力の差( $P$  (A) -  $P$  (B))をコンピュータ100にて算出する。

【0064】図5に示すように、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光が光結合を開始する延伸量を超えた延伸量、例えば $L_2$ において差( $P$  (A) -  $P$  (B))は極大を示す。この差( $P$  (A) -  $P$  (B))の極大値を $P_3$ とする。上述したように、用いる光ファイバの融着延伸する領域のクラッド径を適切に選ぶと、図6に示すように、延伸量 $L_2$ を超えた或る延伸量 $L_3$ となるとき、波長 $1.32\mu\text{m}$ と $1.55\mu\text{m}$ の双方の光で分岐比50%の状態となる。結果として、差( $P$  (A) -  $P$  (B))は零となる。

【0065】延伸量が前記 $L_2$ を超え、差( $P$  (A) -  $P$  (B))が、前記 $P_3$ に0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率 $r_2$ 、例えば $r_2 = 15\%$ を乗じた値 $r_2 \cdot P_3$ より小さくなる時点を検出する。この時点を「延伸終了判定点」と呼ぶ。以降、延伸終了工程に移行する。この加熱延伸を終了する工程は実施例1にて説明したと同様な工程の順序で行う。延伸終了判定点においては延伸量は前記の延伸量 $L_2$ より $\Delta L$ だけ小さいが、実施例1において述べたように、延伸終了判定点の後、実際に光ファイバが冷却される間に生じる不可避免的な延伸があり、最終的な延伸量は延伸量 $L_2$ とすること

ができる。

【0066】なお、前記の比率 $r_1$ は、仮に $r_1$ の値を0%として上述の融着延伸工程を実施し、図5に示す実際の延伸量と両出力端での光出力の変化を求め、実験的に延伸終了判定点の後に生じる不可避免的な延伸と冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を見積もることと決めることができる。

【0067】更に、本実施例2では前記延伸量 $L_1$ が波長 $1.32\mu\text{m}$ の光で分岐比50%の状態となる第1の延伸量と原則的に一致することを考慮し、前記実施例1にて比率 $r_1$ を選定すると同様の方法で延伸終了判定点の後に生じる不可避免的な延伸と冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を見積もることと決定しても、その誤差は許容の範囲内とし得る。

【0068】具体的には、本実施例2における前記延伸量 $L_1$ は波長 $1.32\mu\text{m}$ の光で分岐比50%の状態となる第1の延伸量と原則的に一致するので、前記実施例1において、最適な延伸量は波長 $1.55\mu\text{m}$ の光で分岐比50%の状態となる第1の延伸量である時に、延伸終了判定点の検出の基準として波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を入力する時の光結合開始前基準値 $P_2$ に50%より大きな所定の比率 $r_2$ を乗じた値 $r_2 \cdot P_2$ を定める手順に準じて、波長 $1.32\mu\text{m}$ の光を入力して、「前記実施例1における光結合開始前基準値 $P_2$ に相当する値」を求め、更に「前記実施例1における延伸終了判定点の検出の基準とする値 $r_2 \cdot P_2$ に相当する値」を定めることができる。即ち、「前記実施例1における50%より大きな所定の比率 $r_2$ に相当する値」を定めることができる。この方法で定めた「前記実施例1における延伸終了判定点の検出の基準とする値 $r_2 \cdot P_2$ に相当する値」を用いて「延伸終了判定点」を検出し、その延伸量において前記の差( $P$  (A) -  $P$  (B))を算定する。その算定された差( $P$  (A) -  $P$  (B))は、前記 $P_3$ に0%より大きく且つ50%より小さい所定の比率 $r_2$ を乗じた値 $r_2 \cdot P_3$ と原則的に一致する。それ故、該算定された差( $P$  (A) -  $P$  (B))を $P_3$ で除することにより、比率 $r_2$ を定めることができる。

【0069】なお、波長 $1.32\mu\text{m}$ の光のみを入力して、上述の「前記実施例1における延伸終了判定点の検出の基準とする値 $r_2 \cdot P_2$ に相当する値」を延伸終了判定点の検出の基準に用いて、光ファイバの出力端での光出力が「前記実施例1における延伸終了判定点の検出の基準とする値 $r_2 \cdot P_2$ に相当する値」より小さくなる時点を検出しても、最適な延伸量に制御することができることはいうまでもない。更には、光ファイバカブラの動作原理に鑑みて、その最適な延伸量が、特定の波長の光のみを入力する時、光ファイバの出力端での光出力が分岐比50%となる第1の延伸量と原則的に一致するものである場合、前記実施例1の方法に準じる方法により、最適な延伸量に制御できるのは勿論のことである。

【0070】上記の実施例2にその製造方法を説明した光ファイバカブラは、所謂、波長無依存型光ファイバカブラであり、具体的には波長1.32 $\mu$ m及び1.55 $\mu$ mの2つの波長の光に対し分岐比が50%となるのが適正な光学的特性であり、且つ波長1.32 $\mu$ mの光に対して分岐比50%となる第1の延伸量においてその適正な光学的特性が得られるべく構成が設計されたものである。その設計された構成に応じて、「光結合開始点」を超えた延伸量において差(P(A)-P(B))の極大値を定めているが、実施例1に述べた光ファイバカブラに本発明の第2の態様の方法を適用する際は、「光結合開始点」に至る前の延伸量において差(P(A)-P(B))の極大値を定めることとなる。この時、不可避的な光入力の強度の変動のため、差(P(A)-P(B))の極大値 $P_2'$ が $P_2$ に一致しない虞があり、差(P(A)-P(B))の極大値が複数存在してしまう虞がある。しかしながら、本発明の第2の態様の方法においては、差(P(A)-P(B))の極大値はその実施の状況に応じて適宜定めるものであり、例えば、実施例1に述べた光ファイバカブラに適用する場合、「光結合開始点」に至る前に存在する差(P(A)-P(B))の極大値のうち最大のものを $P_2$ とすることで、 $P_2'$ に一致させることができ、又その手順により差(P(A)-P(B))の極大値を定めることが、合理的且つ妥当であることは言うまでもない。更には、「延伸終了判定点」の検出においても、実施の状況に応じて合理的且つ妥当な延伸量においてのみ、「延伸終了判定点」と判定することは勿論のことである。即ち、設計された光ファイバカブラの構成より当然に予定される最適な延伸量に鑑みて、適正な「延伸終了判定点」となり得ない延伸量においては、「延伸終了判定点」の検出の基準を満たすとも「延伸終了判定点」と判定しないように、例えば不可避的な光入力の強度の変動による誤った判定を未然に防ぐべく、予め「延伸終了判定点」の検出の手順を定めることは勿論のことである。

【0071】本発明によれば、上記実施例1及び2に示すような製造方法にて光ファイバカブラが製造されるので、各製造毎に発生する延伸終了点のバラツキが低減され、従って、歩留まりが極めて向上する。又、延伸終了点の判定基準は、光ファイバカブラの動作原理に基づき、設計される最適な延伸量が最終的に得られるように一義的に定めることができるため、光ファイバカブラの外形状の変更に伴い製造条件を変更する際にも、容易に判定基準の最適化ができる。

【0072】更に、一般に光ファイバカブラの目標特性とその特性を達成するに利用する動作原理を決めると、融着延伸工程時の、モニター用の光計測装置の構成、出

力端での光出力等の工程中自動的に測定すべきデータの種類、融着延伸の工程の順序、並びに条件を適切に選ぶことができる。また、光ファイバカブラの動作原理に基づき、所定の目標特性となる最適な延伸量を設計できる。同時に、一連の工程の終了点、特に上記の延伸終了判定点の検出を、出力端での光出力等の測定データを用い、別途定める延伸終了の判定基準に則り、コンピュータ100による演算処理で自動的に行うことができる。前記延伸終了の判定基準を、延伸終了判定点の後に生じる不可避的な延伸と冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を実験的に見積もり、光ファイバカブラの動作原理に基づき設計される最適な延伸量が最終的に得られるように一義的に定めることができる。

【0073】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る光ファイバカブラの製造方法は、予め延伸終了判定点の後に生じる不可避的な延伸と冷却による体積収縮に起因する光結合係数の増加を考慮して、延伸終了の判定基準を設定するため、最終的に得られる延伸量を光ファイバカブラの動作原理に基づき設計される最適な延伸量と等しくすることができ、所定の特性を有する光ファイバカブラを再現性良く製造することのできる。

【0074】又、本発明によれば、光ファイバの融着延伸工程を自動化して、融着延伸の終了すべき点を正確に判定し、所定の形状をした光結合部を備えた光ファイバカブラを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光ファイバカブラの製造方法を実施するための製造装置の一実施例を示す全体構成図である。

【図2】図1の製造装置の概略制御ブロック図である。

【図3】光計測装置の二通りの測定系を示す図である。

【図4】3dB光結合器タイプの光ファイバカブラ製造時の各光ファイバの出力端における光出力の推移の状態を示す図である。

【図5】WICタイプの光ファイバカブラ製造時の各光ファイバの出力端における光出力の推移の状態を示す図である。

【図6】WICタイプの光ファイバカブラ製造時の各光ファイバの出力端における光出力の推移の状態を、波長毎に分離して示す図である。

【符号の説明】

10	融着延伸装置
20	加熱装置
22	水素炎トーチ
40	光計測装置
100	コンピュータ

```

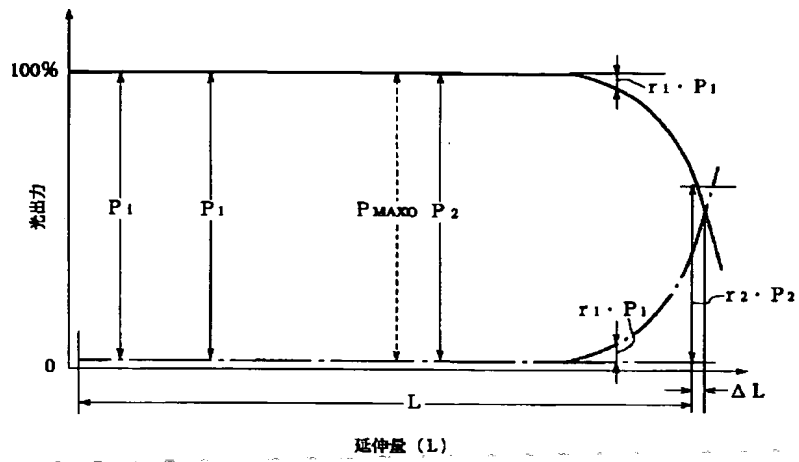
graph LR
    CPU[100 CPU]
    TD[20 トーチ駆動装置]
    P[10 プル装置]
    S1[40 センサ]
    S2[40 センサ]

    CPU -- "前進完了" --> TD
    CPU -- "前進・後退命令" --> P
    TD -- "前進" --> CPU
    P -- "引量" --> CPU
    CPU -- "初期化・動作命令  
(速度・プル・ストップ・戻り)" --> TD
    CPU -- "初期化・動作命令  
(速度・プル・ストップ・戻り)" --> P
    S1 -- "変換電圧" --> CPU
    S2 -- "変換電圧" --> CPU
  
```

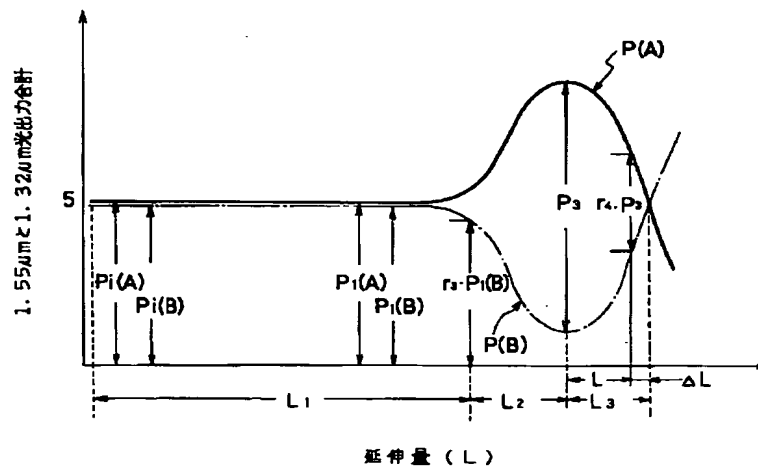
(A) Schematic diagram of the optical setup with a single lens LD1. Light from sources S1 and S2 is focused by lens LD1 onto a fiber. The focal lengths are labeled  $f_1$  and  $f_2$ .

(B) Schematic diagram of the optical setup with two lenses LD1 and LD2. Light from source S1 is focused by lens LD1 onto a fiber, and light from source S2 is focused by lens LD2 onto the same fiber. The focal lengths are labeled  $f_1$  and  $f_2$ .

【図4】



【図5】



【図6】

